

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)【公開番号】特開2001-268127(P2001-268127A)

(43)【公開日】平成13年9月28日(2001. 9. 28)

(51)【国際特許分類第7版】

H04L 12/56

H04B 7/204

7/26

H04Q 7/34

H04L 12/28

【F I】

H04L 11/20 102 D

H04B 7/15 A

7/26 A

106 A

H04L 11/00 310 B

【審査請求】未請求【請求項の数】6【出願形態】OL【全頁数】12

(21)【出願番号】特願2000-346176(P2000-346176)

(22)【出願日】平成12年11月14日(2000. 11. 14)

(31)【優先権主張番号】09/525735

(32)【優先日】平成12年3月14日(2000. 3. 14)

(33)【優先権主張国】米国(US)

(71)【出願人】

【識別番号】596077259

【氏名又は名称】ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテッド

【氏名又は名称原語表記】Lucent Technologies Inc.

【住所又は居所】アメリカ合衆国 07974 ニュージャージー、マレーヒル、マウンテン アベニュー 60
0-700

【住所又は居所原語表記】600 Mountain Avenue, Murray Hill, New Jersey 07974-063
6U. S. A.

(72)【発明者】

【氏名】ホン ジャン

【住所又は居所】アメリカ合衆国、07090 ニュージャージー、ウェストフィールド、オースチン ストリ
ート 746

(72)【発明者】

【氏名】フリッド アーメッド

【住所又は居所】アメリカ合衆国、07724 ニュージャージー、イートンタウン、カントリー ロード 20、
アパートメント 50

(72)【発明者】

【氏名】ムラリドハラン サンパス コジアラム

【住所又は居所】アメリカ合衆国、07746 ニュージャージー、マルボロ、アリエドライブ 17

(72)【発明者】

【氏名】パンテリス モノギアディス

【住所又は居所】アメリカ合衆国、08817 ニュージャージー、エディソン、リベンデル ウェイ 1102

(72)【発明者】

【氏名】キラン エム. レジ

【住所又は居所】アメリカ合衆国、07746 ニュージャージー、マルボロ、フルコート 1

(74)【代理人】

【識別番号】100081053

【弁理士】

5K072 AA23 BB02 BB27 CC04 CC11 CC35 DD11 EE04 EE13 FF13 FF20 FF25

にない場合には、ソースノードよりも宛先ノードに近いローカルトポロジ内のノードのリストの1つを特定するために、位置テーブルを利用するステップと、(B5)パケットを前記ステップで特定されたローカルトポロジノードにルーティングするステップとを有することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】前記(B)ステップは、(B1)ソースノードのローカルトポロジ内にあるノードのリストを含む、ローカルトポロジテーブルを記憶するステップと、(B2)パケットネットワークのノードに関連する位置情報を含む、位置テーブルを記憶するステップと、(B3)ローカルトポロジ外のパケットネットワークのノードに対し、それにより近いローカルトポロジ内のノードのリストの1つを特定するために、位置テーブルを用いるステップと、(B4)ローカルトポロジ外のノードと、特定されたローカルトポロジノードのパス上にある次のホップノードとの間の関連を含むルーティングテーブルを記憶するステップと、(B5)パケットをルーティングするために、ルーティングテーブルを利用するステップとを有することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項6】(a)ノードのローカルトポロジ内にあるノードのリストを含む、ローカルトポロジテーブルと、(b)パケットネットワークのノードに関する位置情報を含む位置テーブルとを記憶するメモリと、宛先ノードがローカルトポロジテーブル内にリストアップされているかを決定し、宛先ノードがノードのローカルトポロジ内にはない場合には、ノードよりも宛先ノードに近いローカルトポロジ内のノードのリストの1つを特定するために、位置テーブルを用い、受信したパケットを特定したローカルトポロジノードにルーティングすることにより、受信したパケットを宛先ノードにルーティングするプロセッサとを有することを特徴とするパケットネットワークのノードで使用される装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は通信に関し、特に、ワイヤレス通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】「アドホック」移動ネットワーク(アドホックネットワーク)は、その位置が連続的に変化するようなノードの集合体を含むネットワークである。通常のワイヤレスネットワークとは異なり、アドホックネットワークは固定したインフラを有さないネットワークとみることができる。例えば、すべてのノードはルータとして機能し、あるいは時には、基地局として機能し、ノードが移動することによりネットワークトポロジが頻繁に変化する。

【0003】従来のワイヤレスネットワークで用いているルーティング技術を適用する際の困難の原因は、アドホックネットワークではネットワークトポロジが変化する点である。従来のネットワークにおいては、ネットワーク内のノードは固定しており、ノードをつなぐリンクはまれにしか故障しない。かくして、トポロジ関連情報をネットワーク内のすべてのノードに、「リンク状態(link-state)更新」(メッセージ)を介して送ることにより、各ノードでネットワークトポロジ全体を維持することが可能となる。ノードはまれにしか故障しない為、すなわちリンク状態更新はまれにしか発生しない為、このアプローチは従来のワイヤレスネットワークでは十分機能していた。しかし、アドホックネットワークにおいては、リンク状態変化(更新)は頻繁に発生する。その理由は、トポロジが変化しアドホックネットワークを介してリンク状態更新メッセージをより多く生成するからである。そしてそのプロセスで貴重な帯域(バンド幅)を消費してしまう。また、首尾一貫したルーティングテーブルを構築することは、リンク状態情報を伝搬させる際に遅延が発生するために困難である。

【0004】これらのファクタを考慮に入れると、アドホックネットワークのルーティングプロトコルは、2つのカテゴリー、すなわちテーブル駆動(table-driven)と、ソース初期化オンディマンド(source initiated on-demand)に大きく分類することができる。テーブル駆動ルーティングプロトコルは、前述した従来のワイヤレスルーティングアプローチ、すなわち各ノードがネットワーク内の他のすべてのノードに対し一貫した最新のルーティング情報を維持するようにするアプローチと類似している。テーブル駆動ルーティングプロトコルの例は、“Destination-Sequenced-Distance-Vector”(DSDV)プロトコルと、“Clusterhead Getaway Switch Routing”(CGSR)プロトコルと、“Wireless Routing Protocol”(WRP)プロトコルである。これに対し、ソース初期化オンディマンドルーティングプロトコルは、ソースノードがある目的地へのルートを必要とする場合にのみ、ルーティング情報を作り出す。このソース開始オンディマンドルーティングプロトコルの例は、“Ad-Hoc On-Demand Distance Vector”(AODV)プロトコルと、“Dynamic Source Routing”(DSR)プロトコルと、“Temporally Ordered Routing Algorithm”(TORA)プロトコルと、“Zone Routing Protocol”(ZRP)プロトコルである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ソース初期化オンディマンドプロトコルの例は、ZRPを考慮にいれている。このZRPにおいては、各ノードはその周囲のローカルエリア、すなわちゾーンに対しネットワークトポロジ全体を維持している。かくしてノード(すなわちソースノード)は、ゾーン内の宛先アドレス

にパケットを送信しなければならないときには、そのルーティング情報はすでに利用可能である。しかしソースノードは、自分のゾーン外の宛先アドレスにパケットを送信しなければならないときには、その時点でノードは、そのゾーンのエッジ(端)にあるすべてのノード(エッジノード)に問い合わせを発生する。これらのエッジノードの1つが、宛先アドレスに対するルーティング情報を有している場合には、そのルーティング情報は、ソースノードに戻させる。

【0006】アドホックネットワークのルーティングプロトコルの上記の方式は、ノードは、そのノードからはるかに離れた領域にある他のノードにいかによりルーティングするかの正確な情報を何らかの形式で維持する必要がある。かくしてノードの数が大きくなり、大きな地理領域ノードに広がり、ノードの移動度が大きくなると、この情報を得ることは困難あるいは実際的ではなくなる。そのため、本発明によれば、ソースノードには宛先ノードへトラフィックをルーティングするために地理ベースのルーティングプロトコル(geometry-based routing protocol: GRP)を用いる。地理ベースのルーティングプロトコル(GRP)では、ソースノードはローカルノードトポロジー(本明細書ではローカルトポロジーを称する)の外にある宛先ノードへ、宛先ノードの位置までの距離の関数としてパケットをルーティングする。

【0007】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明の方法では、ソースノードは、ローカルノードトポロジー(即ちローカルトポロジー、あるいはローカルエリア)内の全てのノードに対する位置情報とルーティング情報と、ローカルトポロジー外の少なくとも一部のノードに対する概算の位置情報を保持する。ソースノードがローカルトポロジー内の宛先ノードにパケットを送信しなければならない時には、ルーティング情報はすでに得られている。しかし、ソースノードがローカルトポロジー外の宛先ノードにパケットを送信しなければならない時には、宛先ノードの概算の位置情報を用いて、ローカルトポロジー内のどのノードが宛先ノードに最も近いかを特定する。この特定したノードがソースノードではないときには、ソースノードはパケットを特定したノードに送信し、その後宛先ノードに送信する。これ以外の場合にはパケットはドロップされる。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明によるアドホックネットワークの一部を図1に示す。本発明が関連しない図1に示した要素は公知であるため詳述しない。例えば、ノード105は蓄積プログラム制御プロセッサと、メモリと、ワイヤレス通信用のインタフェースカードとを有する。(使用されるワイヤレス通信の方式、例えばCDMAは、本発明には関連しないのでここでは詳述しない。)この実施例においては、アドホックネットワークの各ノードは移動デバイスであり、この移動デバイスによりユーザ(移動端末ユーザ等)は、アドホックネットワークにアクセスして、ネットワーク内を流れるパケット/データ用にルーティング機能を提供する。

【0009】各ノードは、全方向のパイロット信号を送信し、ノード間で情報、例えば前述したリンク状態情報を通信するために、信号処理プログラムを用いて他のノードと通信することができる。(パイロットプロトコルと信号処理プロトコルは従来公知のものである。)全方向アンテナとパイロット信号は、トポロジー検出スキーム(topology sensing scheme)の一部であり、ノードは他のノードの存在を検出でき、同時にまた、リンク設定の決定を行うために有益な情報を交換する。一般的に、以下に述べるような本発明以外でも、ノードはこの情報を用いて、どの近隣のノードが自分と直接(ポイント間)リンク接続をすべきか、そしてこのリンクを維持すべきかを決定する。ポイント間リンクは好ましくは方向性アンテナによりサポートされる。

【0010】説明を簡単にするためにすべてのノードは、伝送半径 r を有し、ノード105と通信できる。この点で次の定義を用いる。 V —アドホックネットワーク内のすべてのノードの組を表す。 v, w, u, i, j —アドホックネットワークの様々なノードを表す。 r —ノードの伝送半径、すなわち伝送半径内のすべてのノードはそのノードと通信することができる。 $N(v)$ —ノード v のローカルトポロジーを表す。 $S_k(v)$ —ノード v の k -近傍、すなわちすべてのノードがノード v の k 回のホップ内にあるようなノード v のローカルトポロジー。 H_{vw} —ノード v とノード w との間のホップの最小数。ここで $w \in N(v)$ 。 N_{vw} —ノード v からノード w へ至る次のホップノード。ここで $w \in N(v)$ 。 $l(v)$ —ノード v の位置を表す。 D_{vw} —2つのノード v と w の間の距離を表す。 $D_{vw} = \|l(v) - l(w)\|$ (ただしベクトル表示) (1)

【0011】各ノードはさらに、地球上の自分自身の位置(二次元の)を決定するために、従来公知のグローバルポジショニングシステム(global positioning system: GPS)装置(図1には図示せず)を有するとする。本発明によれば、アドホックネットワークの各ノードは、地理ベースのルーティングプロトコル(GRP)(地理ベースのルーティングアルゴリズムあるいは位置ベースのルーティングとも称する)を実行して、(a)各ノードは、自分自身が規定したローカルトポロジー(ローカルネットワーク、あるいはローカル近傍とも称する)を有し、これは、他のノードのローカルトポロジーと同一あるいは異なる場合がありうる。(b)各ノードは、アドホックネットワークのノード(ローカルトポロジー内にあるノードあるいはローカルトポロジー外のノード)の暫定的なあるいは正確な位置情報を記憶する。

【0012】言い換えると、GRPにおいては各ノードは、アドホックネットワークのノードのサブセットに対するローカルトポロジ（接続性と位置）と、アドホックネットワーク内の遠方ノードのローカル情報（その遠方ノードに対する接続性は不明である）のみを知っている。以下の説明から明らかなようにGRPは、従来のプログラム技術を用いて実行することができる。

【0013】図1は、ノード105に対するローカルトポロジ100を示す。同図においてローカルトポロジ100は、ローカルトポロジ100の一部であるノードについてのみだけでなく、ノード105が他のノードに接続される状況を示す（すなわちネットワークグラフ単にグラフとも称する）。すべての通信は双方向のためグラフには方向性がなく、ローカルトポロジ100は階層状態ではない。同図においてノード105はメモリ内に（図示せず）、ローカルトポロジ100に対応するローカルトポロジテーブル（図2）と、ノード（ローカルトポロジ外のノードも含む）に対する位置情報を記憶する位置テーブル（図3）を記憶する。上記したようにローカルトポロジ100は、ノード105に対する2回近傍（2回のホップで到達するノード）を表す。すなわちS2（ノード105）である。ローカルトポロジ100のすべてのノードは、ノード105に2回以下のホップで到達することができるからである。本明細書においてはノード105は、ローカルトポロジ100の基準ノードである。

【0014】図2のローカルトポロジテーブルは、ノード105に対するローカルトポロジ内にある現在のすべてのノードのリストとノード間の接続を表す。例えばノード105がノード115に送信すべきパケットを有している場合には、ノード105はこのパケットを次のホップノードに送信する。このホップノードは、ローカルトポロジテーブルからノード110で特定される。このテーブルから115へ到達するホップの回数は $k=2$ である。これは図1で矢印101で示している。ローカルトポロジテーブルの形成方法を次に述べる。

【0015】ノード105は伝送半径 r 内のすべてのノードと通信することができるが、ノード105は、ポイント間リンクを確立した（隣接する）ノードとのみ通信する。同様に、他のノードがノード105がその隣接ノードの場合のみ、ノード105と通信する。言い換えるとノードはそのノードに対する k 回近傍を生じさせるようなポイント間のワイヤレスリンクとして接続されるのが好ましい。これは、そのノードに対するローカルトポロジと称する。（グラフ内の隣接ノード間で通信するために、方向性アンテナおよび方向性ビームを用いるのが好ましく、これによりシステムの容量を上げることができる。）

【0016】各ノードはそれ自身のローカルトポロジと、ノード（ローカルトポロジ外のノードも含む）に対する位置情報を有するために、GRAは以下のようにして規定される。 t をノード v に到着するパケットの宛先アドレス（宛先ノードの宛先アドレス）とし、ノード v はローカルトポロジ $N(v)$ を有するとする。GRAによれば、 t が v でない場合には、ノード v は次式を決定する。

【数2】

$$w = \arg \min_{u \in S^k(v)} D_{uw}; \quad (2)$$

ここでノード v は、 $w=v$ （すなわち基準ノードそのものが最近接のノードでありこの場合パケットはドロップされるが）でない場合、ノード N_{vw} へのパケットを転送する。

【0017】GRAを用いて、パケットは、宛先ノードが存在するローカルトポロジ内に到達するまで、あるローカルトポロジから別のローカルトポロジに移動する。

【0018】図1においてGRAを、図4のフローチャートを参照しながら説明する。ノード105（式2のソースノード v ）が、ノード205（式2の宛先ノード t ）へ伝送するためのパケット（図示せず）をパケットを受領する（ステップ405）。ノード105は、ノード205がローカルトポロジの一部であるか否かをみるために、ローカルトポロジテーブルを検索する（ステップ410）。ノード205がローカルトポロジの一部である場合には、ノード105はローカルトポロジテーブルで特定された次のホップノードにパケットを送る（ステップ415）。一方、ノード205がノード105のローカルトポロジの一部でない場合には、ノード105は、地理ベースのルーティングプロトコルを実行して（ステップ420）、そのローカルトポロジ内でノード205に最も近いノードを特定する。特にノード105はローカルトポロジ100の一部であるすべてのノードに対し、式（2）の計算を実行する。ノード105は、ノード205からローカルトポロジ100内の各ノードまでの距離を評価する（式（1）と図3の位置テーブルからの位置情報を用いて）。これを図1の3本の点線の矢印、 $D_{140,205}$ 、 $D_{105,205}$ 、 $D_{150,205}$ で示す。これは、ノード140と205、ノード105と205、ノード150と205との間の式（1）を計算した距離に対応する（ローカルトポロジ100の残りのノードに対する他の距離計算は示していない）。

【0019】最も近いノードが特定されると、ノード105はノード205までの最短距離を有するローカルトポロジ100のノード（例えばノード140）にパケットを送る。ノード105がパケットをノード140にローカルトポロジテーブルを用いてルーティングする（ステップ415）（すなわちパケットは図2のローカルトポロジテーブルで特定された次のホップノード130に送られる）。次のホップノードがその

後、GRAをそのローカルトポロジータブルを用いて実行する。(図4のフローチャートには示していないが、ある状況ではパケットを処理するために適宜のエラー監視条件が付加される。例えば、位置テーブルにノード205の位置情報が存在しない場合にはパケットはドロップされる。)

【0020】ローカルトポロジータブル内のGRAのアプリケーションにおいては、ルーティング内に「ループ」が存在しないようにすることが重要である。GRAルーティング内のループの原因は、2つのノードが宛先ノードから同一距離にあるような状況である。かくして式(2)に対する別の式は、式(3)である。

【数3】

$$w = \arg \min_{u \in S^k(v)} D_{u,v} + \alpha H_{u,v}; \quad (3)$$

ここで α は非常に小さな数であると仮定する。 α は、宛先ノードまでの距離が同一の2つのノードが存在する場合には、ホップの回数からノードuに最も近いノードが選択されるようにループ(結合)が解除される。

【0021】図4に示すように、パケットがノードに到達するのと同時に、ルーティングの計算を行う代わりに、ルーティングテーブルを前述した計算に基づいてあらかじめ作成しておき、パケットルーティングの決定をルーティングテーブル内のエントリーをベースにして決定することができる。このようなルーティングテーブルを図5に示す。このルーティングテーブルは、図2に示したローカルトポロジータブルと、図3に示した位置テーブルの両方からの情報、および上記のルーティング計算(例、式(3))を用いる。図5に示すような同一の実施例を用いると、ノード105で受領したパケットとノード205に向けられたパケットは、ルーティングテーブルエントリーによりノード130にルーティングされる。

【0022】上記したように、各ノードはそれ自身のローカルトポロジータブルを有する。このローカルトポロジータブルを構成する方法を次に説明する。

【0023】 $S_k(v)$ は、ノードのk回近傍である。すなわちそのノードからk回のホップ内にあるノードの組である。次にさらに定義を追加する。 $R_k(v)$ —ノードのk-領域。これは $S_k(v)$ 内の他のノードのいずれよりもノードvに近い二次元の面内の点の組である。

【0024】 $R_k(v)$ は次のようにして得られる。すべてのノードが、面上のそれぞれの位置にあると仮定する。ノードvとあるノード $u \in S_k(v)$ を接続する直線を引く。この線に対する直交二等分線を引く。この直交二等分線がノードvが半分のスペース内にある半分の面を表す。この半分のスペースを P_{vu} で表すことにする。ノード $w \in P_{vu}$ 内にある場合には、ノードwはノードuよりもノードvに近い。 P_{vu} を得るプロセスを、各 $u \in S_k(v)$ に対し繰り返す、そして $R_k(v)$ は、この半分のスペースの交差点である。 $w \in R_k(v)$ となるように、 $w \in V$ が存在し、そしてノードvがwの中になく場合のみGRAを用いてパケットのループレスの分配が存在することが示される。図1のノード105に対するk-領域の例を図6に示し、同図においては2-領域 R_2 (ノード105)である。この状態のもとで、ローカルトポロジータブルを計算するために、ノード内で用いられる方法のフローチャートを図7に示す。

【0025】アドホックネットワークの各ノードは、図7の方法を秒ごとに実行して、ローカルトポロジータブルを連続的に更新あるいは作り出すものとする。(レートの速さは、アドホックネットワークのノードの移動度に依存する。)高速時は、各ノードはまず位置情報を用いて、可聴距離内のノードのサブセットへのポイント間リンクを創設して、かくして隣接ノードを決定する(ステップ605と610)。その後各ノードは、その隣接情報を限られた情報流出(limited flooding)を介して伝搬させて、所定のkの値に対するk回近傍 $S_k(v)$ を得る。(ただし各ノードは同一の値kを用いるものとする。)(ステップ615)かくして、ローカルトポロジータブルは、基準ノードに対して形成される。

【0026】特に各ノードはステップ605でトポロジータブル検知スキームを用いる。このトポロジータブル検知スキームにおいては、各ノードは位置情報をさらに、その伝送半径r内にある全てのノードにも送信できるように修正された全方向パイロット信号を周期的あるいは連続的に放送する。(GPS二次元座標軸が各送信ノードにより与えられ、パイロット信号内でこれらのGPS二次元座標軸が送信される。)ステップ605において、各ノードは、可聴距離内の他のノードから送信されたパイロット信号を聞き、各受信したパイロット信号に対しGPS情報を再生して、それを図3の位置テーブルに記憶する。かくしてステップ605においては、各ノードは、潜在的に近傍にあるノードに対するGPS情報を収集する。(全方向パイロット信号の特定の形式は、本発明には必ずしも必要なものではなく、これに関しては米国特許出願(発明者: Ahmed et al. 発明の名称 "A Topology Sensing Scheme for Networks with Mobile Nodes" を参照のこと。)

【0027】ステップ610において、各ノードは、計算された位置情報を収集したGPS情報に適用して、地理上(geometry)のルーティングを容易にし、選択されたノードとのポイント間リンクを設定し、周囲ノードを選択して隣接テーブルを形成する。(隣接テーブルの例は図1のノード105に対する図

8として示す。)収集したGPS情報を用いて、ノードが隣接テーブルを構成するには少なくとも3種類の方法がある。(第1形式の構成)ノード $u \in V$ と $v \in V$ がリンクを構成する。ただし、他のいかなるノード $w \in V$ を含まないような周囲にノード u と v があるサークルが存在する場合に限る。(第2形式の構成)ノード $u \in V$ と $v \in V$ がエッジを形成する。ただし、他のノード $w \in V$ を含まない直径上にノード u と v があるサークルが存在する場合に限る。(第3形式の構成)ノード $u \in V$ と $v \in V$ がエッジを構成する。ただし、ノード u を中心とし、ノード v を中心とする半径 D_{uv} の円の交点が他のノード $w \in V$ を含まない場合に限る。

【0028】これら3つの構成が形成されない場合には、接続されるネットワークは存在しないことになる。第1形式の構成は、1-回転可能の接続となる。言い換えると、第1形式の接続により構成されたネットワークは、いずれかのノードのローカル近傍は、それに直接接続されるノードの組であるネットワークとなる。GRAを用いてローカル近傍が、1-近傍となるようなネットワーク上でルーティングされる場合には、いかなるノードもパケットを他のいかなるノードにも接続することができる。第2形式、第3形式の接続は、よりまばらなネットワークとなる(リンクの数は第1形成期の接続よりも少なくなる)。シミュレーションの実験結果から、これらのネットワークはほとんど k -回転可能となることが分かった。 $k=2$ 、 $k=4$ である。

【0029】可聴距離内で上記の基準の1つを満たすノードとの接続を形成した後、各ノードは、制約された情報供給(limited flooding)を介して、そのリンク情報を伝搬して、すべてのノードが k 回近傍を構成できるようにする(ステップ615)。(ただし、すべてのノードは同一の値 k を用いるものとする。)例えば、図1に戻って、2回近傍に対しては、ノード105は、ノード110、130、150から隣接リストを受領して、図2のローカルポロジータブルを構成する。(ノード125は、ノード130に隣接しているために、ノード105で受領し、ノード125に向けられたパケットは、ノード105によりノード130にルーティングされることが分かる。)同様に、 k が3に等しい場合には、隣接情報はさらに、制約された情報供給を介して伝搬される(ノード105は、ノード115、120、125、135、140、150の隣接テーブルを受領する)。

【0030】例えばノード105は、その隣接テーブルをタイムトゥライブ(time-to-live)フィールドでもって送信する。タイムトゥライブフィールドの値を用いて、ノード105の隣接テーブル情報を、限られた近傍のノードに供給(伝搬)する。タイムトゥライブフィールドとノード105の隣接テーブルを受領した各ノードは、タイムトゥライブのフィールドの値を減算する。タイムトゥライブフィールドの値が0を越えている限り、その受信中のノードはさらに、ノード105の隣接テーブルを、その隣接ノードに送信する(タイムトゥライブフィールドの減算した値でもって)。しかしタイムトゥライブフィールドの値が0になると、その受信中のノードはもはやノード105の隣接テーブルを伝搬しない。本明細書には記載していないが、ローカルポロジータブルを生成する上記の方法は、ルーティングに際しループを形成しないことが数学的に証明されている。

【0031】上記したように各ノードは、伝送半径 r 内にある他の全てのノード(正確に、または概算として)位置を知っていることが前提である。しかしノードが、遠方のノードの伝送範囲外にある場合があり、そのためノードは、遠方ノードから位置情報を受信することができない場合がある。他の方法として、遠方ノードの位置が見いだされなかった場合には、パケットをドロップするだけであるが、別法の位置更新メカニズムを用いることもできる。例えば、位置情報が周期的に更新されるような、レイジー更新(lazy update)メカニズムを用いることもできる。

【0032】このレイジー更新メカニズムにおいては、各ノードは、すべての既知のノードの位置のリストを、その情報がこれらのノードによりいつ生成されたかについてのタイムスタンプとともに維持(保持)する。 $p(i, k)$ をノード i から見たノード k の位置とすると、そして $s(i, k)$ が位置情報がノード k で生成されたタイムスタンプであるとする。このタイムスタンプは、位置情報の古さを決定する手段を与える。(上記の議論から分かるように、 $p(i, k)$ は、 $l(v)$ の変形であり、二次元のGPS情報である。例をあげて説明すると、 $s(i, k)$ は、月、日、年(24時間で、例えば3:00PMは1500である)の関数として決定された整数値である。) 図3の位置テーブルを修正して、図9に示すタイムスタンプのフィールドを含めるようにすることができる。ここで基準ノード i は、図1のノード150である。図9のテーブルは、ノード i のエントリーそのものを含む(ここではノード150で示される)。ノード i における位置とタイムスタンプのリストは、ノード i におけるロケーションリスト、あるいはロケーションテーブル $L(i)$ とも称する。

【0033】レイジー更新方法によれば、各ノードは周期的にその位置を t_1 秒間に一度、隣接ノード(あるいはローカルポロジータブルのすべてのノードに)に送る。さらにまた t_2 秒ごとに、各ノードはその位置リスト $L(i)$ をその隣接ノード(1ホップ内のノード)に送る。レイジー更新方法のフローチャートを受領ノード j で使用する場合を例に図10に示す。受信ノード j がノード i に隣接しているとする。ステップ905において受信ノード j は、それに隣接するすべてのノードから位置情報 $p(i, k)$ を受領する。ステップ910において、受信ノード j は、その位置リスト $L(j)$ を更新して、その隣接ノードに現在の位置とタイ

ムスタンプを反映する。(この時点においては、タイムスタンプ情報は、 $L(j)$ 内に記憶された、前のローカルトポロジ位置伝送よりもより新しいものであると仮定する。)ステップ915においてノード j は、隣接ノードから位置リスト $L(i)$ を受領する。ステップ920においてノード j は、その位置リスト $L(j)$ 内のエントリーを追加および/または修正するが、これは受信した位置リストのおおのの上のリストの各ノード $k \in V$ に対する以下の計算を行うことにより行われる(様々な位置リストを合成(merging)する)。 $s(i, k) > s(j, k)$ の場合には、 $s(j, k) = s(i, k)$ かつ $p(j, k) = p(i, k)$ あるいは何もしない。

【0034】ノード j が、位置リスト上にはないノード k に関連するタイムスタンプをノードから受領すると、 $s(i, k) > s(j, k)$ の定義により、ノード j はこの新たなノード k をその位置リストに追加する。同様に、受信した特定の位置リストから受信したタイムスタンプが、現在のタイムスタンプよりもより新しい場合、すなわち $s(i, k) > s(j, k)$ の場合には、その位置リスト上にすでにあるノード i に対する位置情報を更新する。一方ノード j が、特定のノード k に対しより新しい情報を有する場合には、すなわち $s(i, k) < s(j, k)$ の場合には、位置リストへの変化は生じない。かくして位置情報は、あるノードからその隣接するノードに位置リストを伝送することにより、アドホックネットワークを介して徐々に伝搬する。このレイジー更新手順は、位置情報が大幅に変化する場合には、ネットワーク全体に位置情報を与えるよりもルーティングのオーバーヘッドが大幅に少なくなる。

【0035】上記のことから、あるノードが遠方ノードに関する情報を受け取らない間は、レイジー更新メカニズムを用いると、アドホックネットワークに対するあるウォームアップ時間が存在することが分かる。上記したように、GRPルーティング方法の1つのオプションは、遠方ノードの位置が分からないときには、パケットを単に廃棄するだけである。

【0036】レイジー更新メカニズムを用いると、ループが発生する可能性があることが分かる。例えば、あるパケットに対しを宛先ノードとし、ノード v がノード u からこのパケットを受領したとする。ノード v がそのパケットに対する次のホップノード u であると、これはループとなる。このような状態を回避するために、このような状況が発生した場合にはノード u と v は、 $p(u, t)$ 、 $p(v, t)$ 、 $s(u, t)$ 、 $s(v, t)$ を交換する。ノード t の位置は、ノードがより新しい情報を有するよう決定される。両方のノードがこの情報の一部を利用する。この変形例を用いて、ルート内に無限のループが存在しないことが示される。

【0037】図11に、図1のアドホックネットワークで使用される代表的なノード905のハイレベルのブロック図を示す。ノード905は、蓄積プログラム制御ベースのプロセッサアーキテクチャーであり、プロセッサ950と、メモリ960と、パス966により表される通信設備を介して、アドホックネットワークの他のノードと通信する通信インタフェース965と、GPS位置情報を受領するGPS970とを有する。(メモリ960は、プログラム指示とデータを記憶し、上記の地理ベースのルーティングプロトコルにしたがって通信し、位置テーブルを記憶する)ノード905はルータとも称する。

【0038】本発明は、アドホックネットワーク(大小に関わらず)内で、パケットをルーティングする簡単なルーティングプログラムを提供する。GRPは、遠方ノードに対し最も近いノードを特定するが、このGRPは、基準ノードよりも遠方のノードにより近いすべてのノードを特定するよう修正することもできる。本発明は、ワイヤレスのアプリケーションを例に説明したが、GRPは有線ネットワーク、あるいは有線または無線のリンクの組合せを有するネットワークのようなパケットネットワークの他の形態でも用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のアドホックネットワークの一部を表す図。

【図2】ローカルトポロジテーブルを表す図。

【図3】位置テーブルを表す図。

【図4】アドホックネットワーク内でパケットをルーティングする際に使用されるフローチャート図。

【図5】ルーティングテーブルを表す図。

【図6】図1のノード105に対する2つの領域を表す図。

【図7】ローカルトポロジを構成する際に用いられるフローチャート図。

【図8】隣接テーブルを表す図。

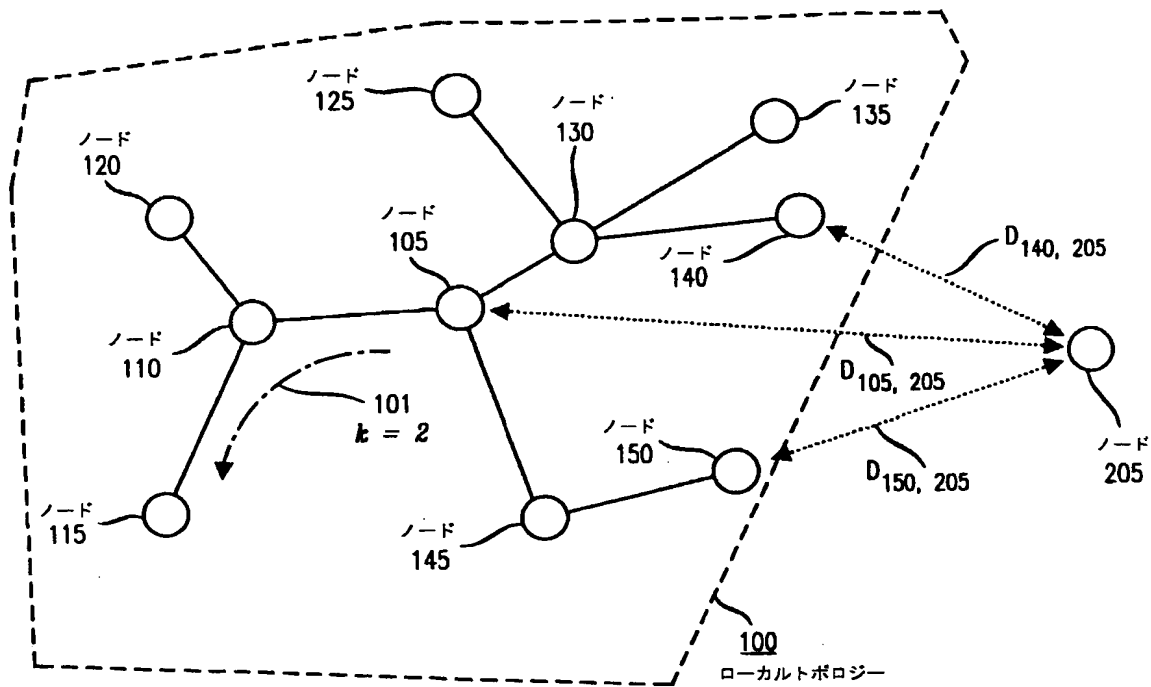
【図9】別の位置テーブルを表す図。

【図10】遅延した更新手順で使用されるフローチャート図を表す図。

【図11】図1のアドホックネットワークで使用されるノードのブロック図。

【符号の説明】100 ローカルトポロジ 105 ノード905 ノード950 プロセッサ960 メモリ962 通信インタフェース966 パス970 GPS

【図1】本発明のアドホックネットワークの一部を表す図。



【図3】位置テーブルを表す図。

ローカルテーブル

ノード	位置
ノード 105	$l(105)$
ノード 110	$l(110)$
ノード 115	$l(115)$
ノード 120	$l(120)$
ノード 125	$l(125)$
ノード 130	$l(130)$
ノード 135	$l(135)$
ノード 140	$l(140)$
⋮	
ノード 205	$l(205)$

【図8】隣接テーブルを表す図。

隣接テーブル

ノード 110
ノード 130
ノード 145

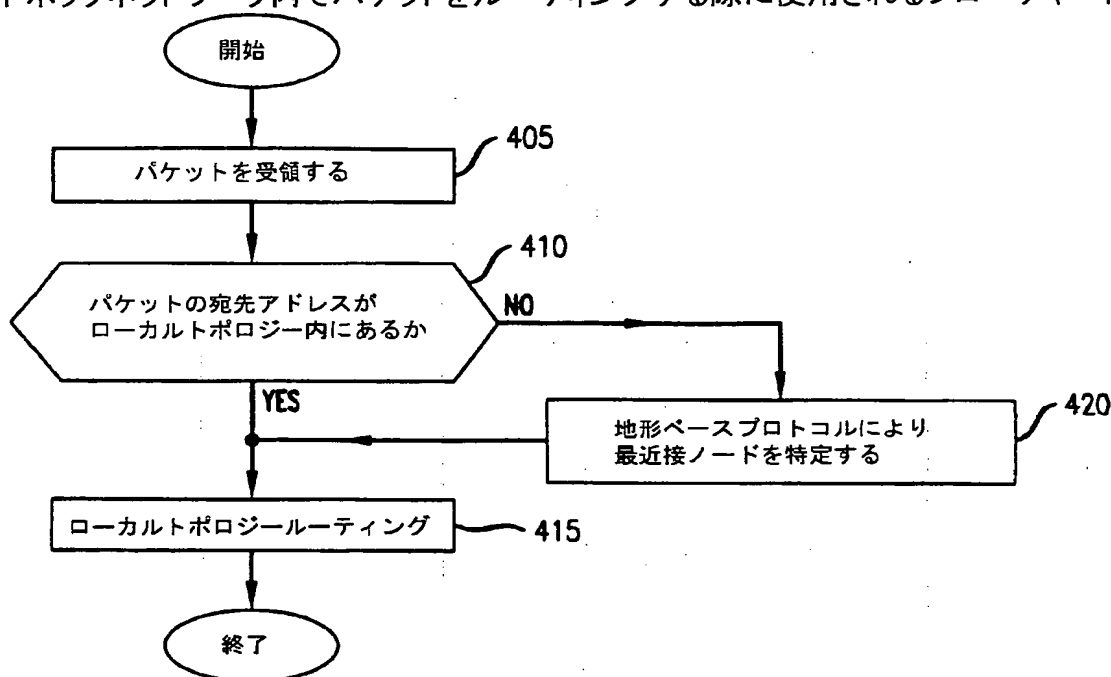
【図2】ローカルトポロジーテーブルを表す図。

ローカルトポロジテーブル

[S2(105)]

ローカルトポロジ内の 宛先ノード	ローカルトポロジ内の 次のホップノード	ホップの回数
ノード 110	ノード 110	1
ノード 115	ノード 110	2
ノード 120	ノード 110	2
ノード 125	ノード 130	2
ノード 130	ノード 130	1
ノード 135	ノード 130	2
ノード 140	ノード 130	2
ノード 145	ノード 145	1
ノード 150	ノード 145	2

【図4】アドホックネットワーク内でパケットをルーティングする際に使用されるフローチャート図。



【図9】別の位置テーブルを表す図。

位置テーブル

ノード	位置	タイムスタンプ
ノード 105	$p(105, 105)$	$s(105, 105)$
ノード 110	$p(105, 110)$	$s(105, 110)$
ノード 115	$p(105, 115)$	$s(105, 115)$
ノード 120	$p(105, 120)$	$s(105, 120)$
ノード 125	$p(105, 125)$	$s(105, 125)$
ノード 130	$p(105, 130)$	$s(105, 130)$
ノード 135	$p(105, 135)$	$s(105, 135)$
ノード 140	$p(105, 140)$	$s(105, 140)$
⋮		
ノード 205	$p(105, 205)$	$s(105, 205)$

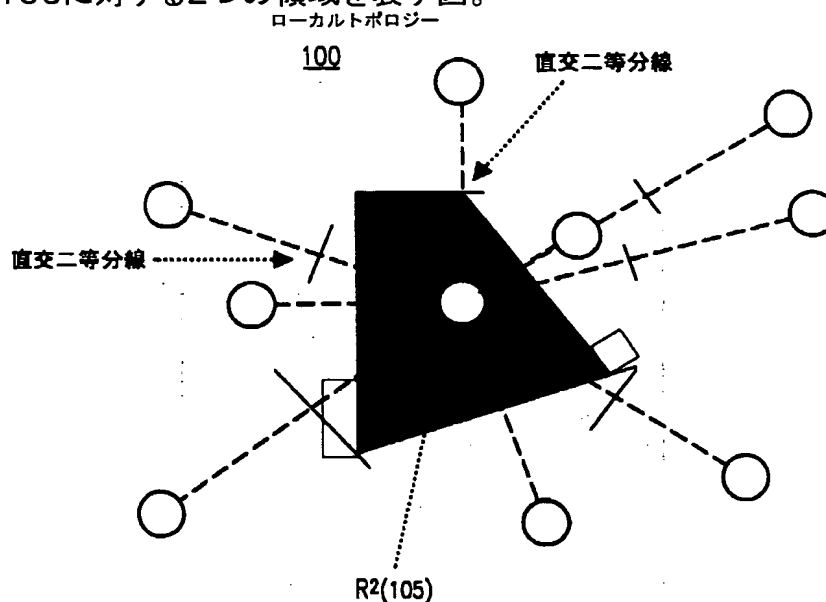
【図5】ルーティングテーブルを表す図。

ルーティングテーブル

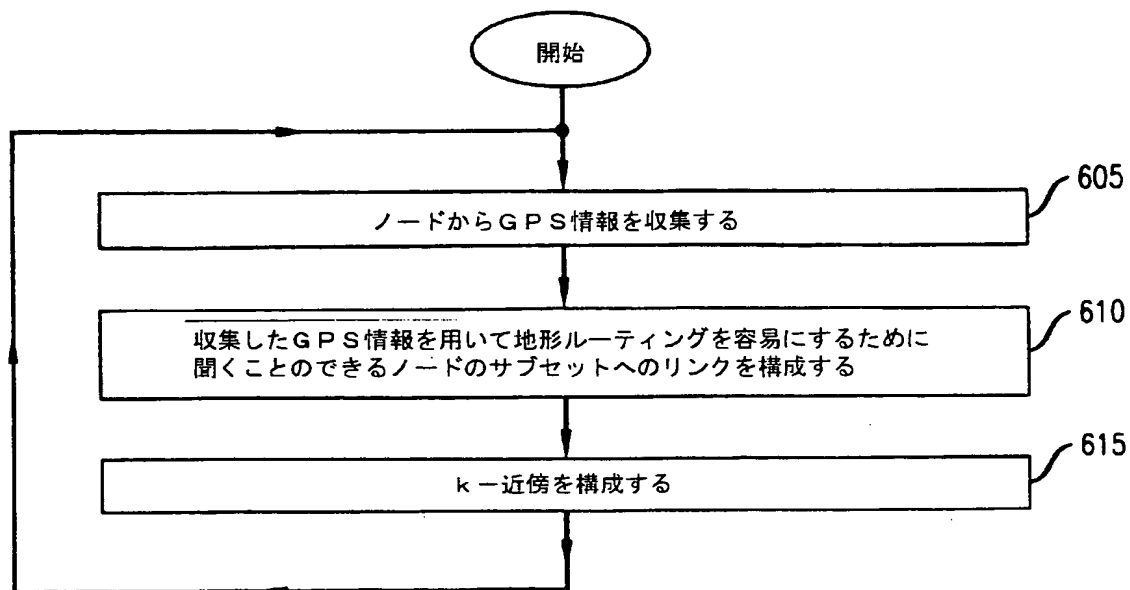
宛先ノード	ローカルトポロジにおける 次のホップノード
ノード 110	ノード 110
ノード 115	ノード 110
ノード 120	ノード 110
ノード 125	ノード 130
ノード 130	ノード 130
ノード 135	ノード 130
ノード 140	ノード 130
ノード 145	ノード 145
ノード 150	ノード 145
⋮	
ノード 205	ノード 130

BEST AVAILABLE COPY

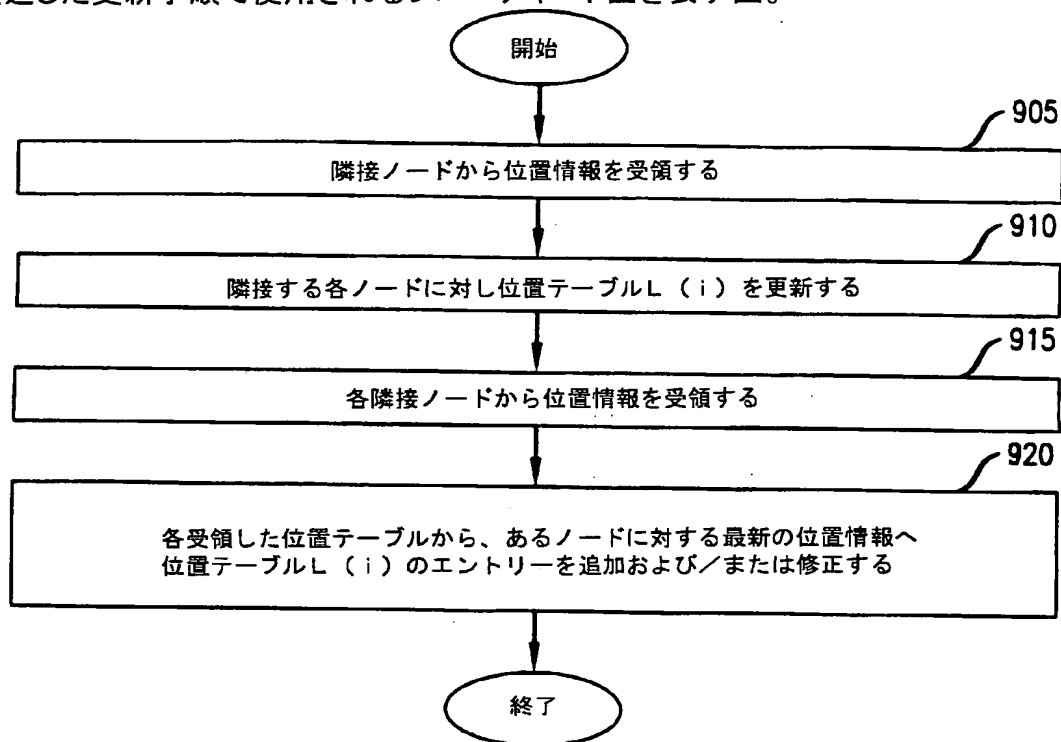
【図6】図1のノード105に対する2つの領域を表す図。



【図7】ローカルトポロジを構成する際に用いられるフローチャート図。



【図10】遅延した更新手順で使用するフローチャート図を表す図。



【図11】図1のアドホックネットワークで使用するノードのブロック図。

